

Ретроспективное восстановление интегральных выпадений йода-131 по населённым пунктам Брянской области России на основе результатов определения в 2008 г. содержания йода-129 в почве

Ю.И. Гаврилин, В.Я. Волков, И.И. Макаренко

ФГУ «Федеральный медицинский биофизический центр
им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва

В статье кратко изложена процедура восстановления интегральных выпадений йода-131 путём использования отрывочных сведений о выпадениях йода-131 в мае – июне 1986 г., а также результатов определения (в отдалённые сроки после аварии) содержания в почве йода-129 и значений интегральных выпадений цезия-137 по населённым пунктам Брянской области России. В табличном виде представлены результаты оценки интегральных выпадений йода-129 (в ареале 32 пунктов отбора проб почвы). Определены закономерности изменения значений отношения $(^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs})_{\text{И}}$ в интегральных выпадениях радионуклидов и оценены значения интегральных выпадений йода-131 по остальным населённым пунктам области с известными значениями интегральных выпадений цезия-137. Показано, что вариабельность средних по населённым пунктам значений интегральных выпадений йода-131 в 70 раз меньше вариабельности соответствующих значений интегральных выпадений цезия-137.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС; траектории переноса, интегральные выпадения, цезий-137, йод-129, йод-131.

Введение

Сведения об интегральных выпадениях короткоживущих изотопов йода (прежде всего, йода-131) играют определяющую роль при ретроспективном восстановлении доз внутреннего облучения щитовидной железы (ЩЖ) для жителей территорий, не охваченных дозиметрическим обследованием населения в период формирования дозы и, соответственно, для уточнения зависимости доза – эффект, особенно, в области относительно малых значений дозы внутреннего облучения ЩЖ.

В результате аварии на ЧАЭС радиационному воздействию, связанному с поступлением в организм йода-131, подверглись, в различной степени, миллионы жителей не только наиболее загрязнённых территорий. На относительно слабо загрязнённых территориях ($^{137}\text{Cs} \leq 1,0 \text{ Ки/км}^2$) России могли реализоваться значимые выпадения йода-131. Об этом свидетельствует соответствующая информация, полученная по Гомельской области Беларуси. На таких территориях России целенаправленное дозиметрическое обследование населения не проводилось. На них не отбирали (за редким исключением) пробы почвы, по которым можно было бы определить интегральные выпадения йода-131. Всё это относится и к Брянской области, по которой число проб почвы, отобранных в мае 1986 г. на её сильно загрязнённой западной территории, мало (около 20), а на остальной территории отбор проб почвы в период формирования дозы внутреннего облучения ЩЖ не осуществлялся.

По результатам анализа ограниченного числа не представительных по области проб почвы было получено среднее значение отношения $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs} \approx 10 \pm 2$. В условиях отсутствия какой-либо иной информации по России это

значение было распространено на всю Брянскую область (и на другие области). Однако по территориям Беларуси, граничащим с западными территориями Брянской области, было установлено, что значение отношения $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ изменяется как минимум в 100 раз при уровнях выпадений цезия-137 от 0,5 до более 100 Ки/км².

Естественно, что такая ситуация требовала своего логического разрешения. Поэтому в 2006 г. в рамках договоров с МЧС России в ГНЦ – Институт биофизики были начаты работы, связанные с восстановлением интегральных выпадений ^{131}I по территориям Брянской области (независимо от уровней выпадений ^{137}Cs).

Методы исследования

При ретроспективном восстановлении интегральных выпадений йода-131 по Брянской области России использованы разработанные подходы [1], базирующиеся на информации о пространственно-временном распространении радиоактивных продуктов выброса, а также на результатах радиационных исследований на местности, полученных в разные сроки различными группами исследователей:

- динамика суточных выпадений йода [2];
- активность йода-131 и цезия-137 в отобранных пробах почвы [3];
- активность интегральных выпадений цезия-137 [4];
- активность йода-129 в пробах почвы [5].

В качестве основы для определения динамики суточных выпадений йода-131 по Брянской области использованы результаты определения его активности в суточных выпадениях РВ на планшеты в окрестностях г. Гомеля [2] (типовой населённый пункт), а также сведения о сроках и количестве дождевых осадков и информация о простран-

ственно-временном распространении радиоактивных продуктов выброса.

В общем случае восстановление динамики выпадений йода-131 до 30.06 1986 г. в ареале НП начинается с восстановления динамики сухих выпадений йода-131 « I_c » по типовым НП. Восстановление по ним полной динамики суточных комбинированных « I_k » выпадений йода-131 (сухие « I_c » плюс мокрые « I_m ») до 30.06.1986 г. осуществляется в соответствии с имеющейся информацией о сроках и количестве выпадения дождевых осадков по соотношению:

$$I_k = I_c + I_c \times V_m / V_c = I_c \times (1 + 6,34 \times X_i), \quad (1)$$

где V_c и V_m – средняя скорость соответственно сухого и мокрого осаднения йода-131, см/с;

X_i – уровень суточных дождевых осадков день « i ».

Процедура определения численного значения (6,34) в соотношении (1) представлена в статье [1].

Восстановленная динамика сухих выпадений йода-131 по типовому НП принимается в качестве типовой для всех населённых пунктов исследуемой территории. Из этих пунктов выделяется группа НП с известными сроками и количеством суточных дождевых осадков и значениями отношения $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ в пробах почвы, отобранных до 30 июня 1986 г.

В соответствии с процедурой, изложенной в [1], используя соотношение (1), по НП выделенной группы восстанавливают смещённые комбинированные суточные выпадения йода-131 и на их основе – его смещённые интегральные выпадения. По результатам сопоставления значений смещённых интегральных выпадений йода-131 с его интегральными выпадениями по типовому НП определяют значения коэффициента смещения и восстанавливают значения интегральных выпадений йода по НП выделенной группы.

Полученные результаты оценки значений отношения $(^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs})_i = R_i$ в интегральных выпадениях по выделенной группе НП, в свою очередь, используют для определения закономерности изменения значений R_i от выпадений цезия-137 и, соответственно, для последующей оценки выпадений йода-131 по остальным НП, для которых известны только значения интегральных выпадений цезия-137.

Совокупность перечисленных данных по Брянской области (без йода-129) использована для оценки (по разработанным подходам [1]) интегральных выпадений йода-131 и значений отношения $(^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs})_i$ в ареале тех населённых пунктов (НП), по которым имеются сведения об активности йода-131 (и цезия-137) в пробах почвы (19 проб), отобранных в разные сроки после аварии.

В связи с тем, что 19 указанных проб характеризуют только наиболее загрязнённую территорию области, в 2007 г. была поставлена задача восстановления интегральных выпадений йода-131 по остальной относительно слабо загрязнённой территории Брянской области путём использования информации о содержании йода-129 и цезия-137 в пробах почвы.

В 2007 г. в Брянской области были отобраны пробы почвы в 31 НП:

- 13 проб по НП наиболее загрязнённых территорий (12 из них там, где в 1986 г. определены выпадения йода-131);

- 18 проб по остальным территориям, в основном, с уровнями выпадений цезия-137 менее 1,0 Ки/км².

Пробы отбирались на глубину 10 см. Их обработка осуществлялась в 2007–2008 гг.

Общая масса обработанной почвы (сухой вес) составила около 800 кг. Масса отдельных проб варьировала от 7 до 45 кг.

Выделение и концентрирование йода-129 в счётном образце осуществлялось путём использования нового относительно простого и дешёвого способа определения его содержания в пробах почвы.

На разработанный способ и два устройства получены три патента Российской Федерации [6], [7], [8].

Измерение активности счётного образца проводилось на разработанной установке, работающей по схеме бета-икс совпадений. На методику выполнения измерений содержания йода-129 в пробах почвы получено свидетельство об аттестации.

Принятые фоновые значения на момент аварии:

1. Среднее значение концентрации в почве йода-129 на момент аварии на ЧАЭС принято равным 90 мкБк/кг [9]. Усреднённое содержание йода-129 от глобальных выпадений на 26.04.1986 г. в слое почвы 0–10 см принято равным 45 мкБк/кг.

2. Среднее значение глобальных выпадений цезия-137 на момент аварии на ЧАЭС принято равным 0,06 Ки/км². Усреднённое содержание цезия-137 от глобальных выпадений на 26.04.1986 г. в слое почвы 0–10 см. принято равным 0,04 Ки/км² [10], [11].

Относительная погрешность определения активности йода-129 в счётном образце не более 40% за 30 часов экспозиции при скорости счёта (от счётного образца), равной скорости счёта фона ($5,8 \times 10^{-4}$ им/с). При увеличении содержания йода-129 в счётном образце и при сохранении времени экспозиции значение погрешности уменьшается.

Относительная погрешность глобальных (фоновых) выпадений йода-129 и цезия-137 по Брянской области на время аварии принята равной 40% а цезия-137 – 35%

Важно отметить, что результаты определения содержания йода-129 в 10-сантиметровом слое почвы по пробам, отобранным в 2007 г., не могут быть напрямую использованы для оценки содержания в этом слое йода-131 в апреле – июне 1986 г. Необходимо учитывать его вертикальную миграцию за 21 год после аварии на ЧАЭС. Это относится также и к цезию 137.

Относительная среднеквадратическая погрешность значений коэффициентов учёта вертикальной миграции (заглубления) цезия-137 (K_1) и йода-129 (K_2) из 10-сантиметрового слоя за 21 год составляет 28% (табл. 1).

Относительная среднеквадратическая погрешность оценки удельного (Бк/кг) содержания йода-129 (с учётом фона и вертикальной миграции) на момент аварии составляет 63%. При фиксированном времени экспозиции пробы (30 часов) относительная погрешность определения значений указанных величин уменьшается с увеличением содержания в пробах йода-129.

Определение содержания в пробах цезия-137 проводилось на обычной спектрометрической установке.

Относительная среднеквадратическая погрешность определения активности цезия-137 в отобранных в 2007 г.

пробах почвы за вычетом фона и с поправкой на вертикальную миграцию составляет 47%.

Переход к среднегеометрическому значению « x_2 » (при известном среднем « x_1 » с погрешностью « $\pm \Delta x_1$ ») может быть осуществлён по соотношению: $x_2 = \sqrt{[(x_1 - \Delta x_1) \times (x_1 + \Delta x_1)]} = \sqrt{[x_1^2 - (\Delta x_1)^2]}$. В этом случае при относительной погрешности $\Delta x_1/x_1$, равной 75%, получим $x_2 \cong x_1 \times 0,662$ (с теми же доверительными границами, что и x_1). Погрешность определения значения x_2 при любом заданном значении $x_1 > 0$ будет равна:

$$(x_1 + \Delta x_1)/x_2 = 2,65 - \text{(определение по правой границе)}$$

$$x_2/(x_1 - \Delta x_1) = 2,65 - \text{(определение по левой границе)}$$

Полученные максимальные значения геометрического отклонения вполне укладываются в приемлемые рамки при ретроспективном восстановлении значений определяемой величины.

По результатам определения содержания в пробах йода-129 и цезия-137 оценено содержание в них йода-131.

Содержание йода-131 ($I_{131П}$) в отобранных пробах почвы оценивалось по соотношению:

$$I_{131П} = I_{129П} \times (I_{131} / I_{129})_P = I_{129П} \times 6,25 \times 10^7, \quad (2)$$

где: $I_{129П}$ – содержание йода-129 в пробе почвы, Бк/пробу; $(I_{131}/I_{129})_P$ – соотношение активностей йода-131 и йода-129 в реакторе ко времени аварии на ЧАЭС.

Результаты оценки содержания йода-131 (по йоду-129) и определения содержания цезия-137 в отобранных пробах были использованы для расчёта значений отношения $(^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs})_И$ в интегральных выпадениях РВ.

Относительная среднеквадратическая погрешность определения значений отношения $(^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs})_И$ по самым малоактивным пробам, отобранным в 2008 г. (без учёта погрешности определения реакторного значения отношения $(I_{131}/I_{129})_P$, составляет 77%. При этом среднее геометрическое значение составляет $x_2 = 0,638 \times x_1$, с отклонением 2,77 (умножить, разделить).

Результаты определения значений отношения $(^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs})_И$, использованы для определения закономерности изменения значений данного отношения в зависимости от уровней интегральных выпадений цезия-137 по территории Брянской области.

Проведённые исследования показали необходимость деления территории Брянской области на две части. На рисунке 1 представлено деление территории Брянской области на две части – южную (1) и северную (2). Такое деление позволило достичь наибольших значений коэффициента достоверности аппроксимации зависимости значений отношения $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ от выпадений цезия-137, рассчитанных по населённым пунктам, в окрестностях которых осуществлялся отбор проб почвы (0,92 для каждой территории).

Попытки обособленного выделения наиболее загрязнённых западных территорий Брянской области, простирающихся с юга на север, показали низкую достоверность аппроксимации (R^2) зависимости реконструированных значений отношения $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ от уровней выпадения цезия-137 ($R^2 < 0,3$). Уменьшение величины R^2 также наблюдается и на слабо загрязнённых цезием-127 территориях при попытках любого иного их деления.

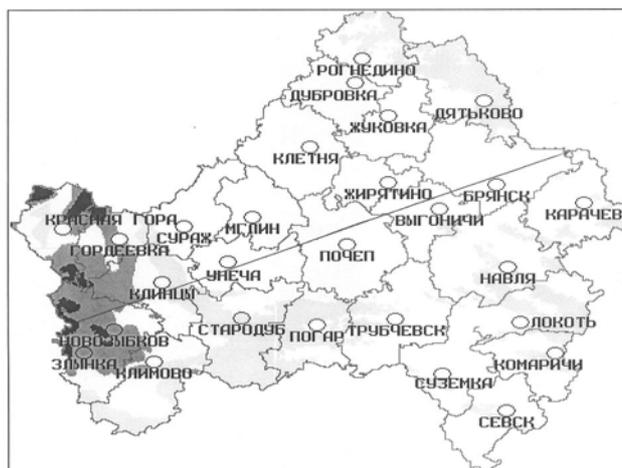


Рис. 1. Деление территории Брянской области России на две части (южная территория 1 и северная территория 2)

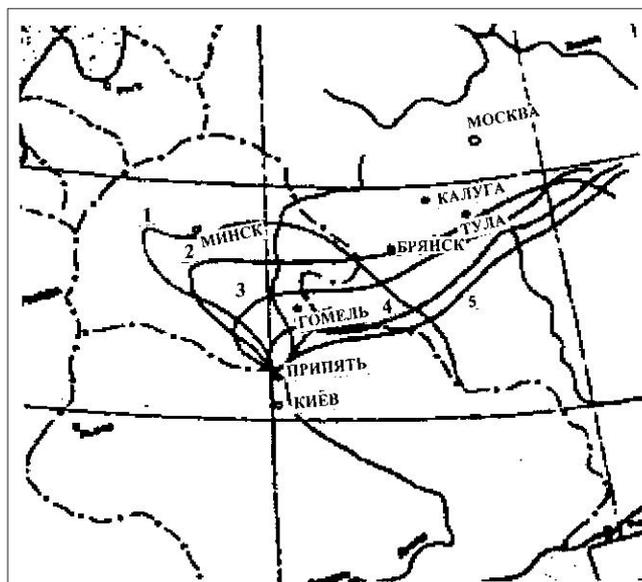


Рис. 2. Траектории переноса воздушных частиц, 27.04.1986 г. – 3 ч (1), 6 ч (2), 9 ч (3), 15 ч (4), 21 ч (5) [12]

Представленное на рисунке 1 деление территорий Брянской области России на две части согласуется с процессами развития аварии на ЧАЭС и распространения радиоактивного вещества в атмосфере. На рисунке 2 представлены «траектории переноса воздушных частиц» после аварии на ЧАЭС [12].

Из сопоставления рисунков 1 и 2 следует, что представленный на рисунке 1 ход линии раздела территории Брянской области на две части, в целом, удовлетворительно согласуется с ходом траекторий (2), (3), (4) распространения РВ на разных высотах. Траектория (1) проходила преимущественно по западной части области, на территории которой значения радионуклидных соотношений отличаются от аналогичных соотношений в её центральной и восточной части.

В физическом плане наблюдаемая картина объясняется тем, что на начальном этапе из разогретого топлива наиболее интенсивно выходили радиоактивные инертные газы

и изотопы йода. После разрушения крыши центрального зала (в результате повышения давления) обогащённые йодом продукты деления распространялись на относительно небольшой высоте (запад, северо-запад с последующим поворотом части облаков на восток). В результате завершения аварии взрывным процессом часть обеднённого йодом диспергированного и испарившегося топлива достигла верхних слоёв тропосферы и, по крайней мере, нижних слоёв стратосферы (результаты, полученные польскими исследователями). Это обеспечило глобальное загрязнение атмосферы и, соответственно, глобальные выпадения радионуклидов, в том числе йода-131 и цезия-137. Наложение различных радиоактивных следов с разными радионуклидными соотношениями обеспечило, в свою очередь, уменьшение в выпадениях значений $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ с юга (от широты расположения реактора) на север.

В принципе, ориентируясь на данные рисунка 2, возможно проведение линии раздела территории Брянской области на две части, например, точно в соответствии с ходом траектории (2). Но это уменьшит значения коэффициента достоверности аппроксимации и приведёт лишь к относительно небольшому (для малого числа населённых пунктов) изменению оценок реализованных значений отношения $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ (и интегральных выпадений йода-131), которые многократно отличаются от соответствующих значений, представленных в работе [13].

Полученные результаты

В предыдущем разделе было отмечено, что на конечные результаты количественной оценки интегральных выпадений йода-131 и цезия-137, определяемых по

содержанию йода-129 и цезия-137 в пробах почвы, отобранных в 2007 г., наибольшее влияние оказывает процесс вертикальной миграции данных радионуклидов. Для учёта вертикальной миграции йода-131 (йода-129) и цезия-137 из 10-сантиметрового слоя почвы за 21 год после аварии на ЧАЭС было проведено сопоставление результатов определения содержания йода-131 и цезия-137 в пробах почвы, отобранных в 1986 г. в ареале ряда НП Брянской области, с соответствующими оценками 2008г. Активность йода-131 оценена в 2008 г. по йоду-129.

В таблице 1 представлены результаты оценки коэффициентов вертикальной миграции йода и цезия из 10-сантиметрового слоя почвы за 21 год после аварии на ЧАЭС. Данные приведены к 28.04.1986 г.

Данные колонок 5 и 8 таблицы 1 характеризуют соответственно кратность уменьшения содержания цезия-137 и йода-129 в 10-сантиметровом слое почвы различного типа за 21 год после аварии на ЧАЭС.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что с учётом вертикальной миграции йода и цезия в период с 1986 г. по 2007 г., получено удовлетворительное согласование результатов оценки содержания йода-131 в пробах почвы с соответствующими данными, полученными в 1986 г. прямым методом (по тем же НП).

Значения полученных коэффициентов вертикальной миграции йода и цезия из 10-сантиметрового слоя почвы за 21 год после аварии использованы для оценки поверхностных интегральных выпадений йода-129 (и цезия-137). Соответствующие значения интегральных выпадений йода-129 (с учётом фоновых значений) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Результаты оценки коэффициентов вертикальной миграции йода и цезия из 10-сантиметрового слоя почвы за 21 год после аварии на ЧАЭС

№ п/п	Название НП (район)	$^{137}\text{Cs}_{86}$	$^{137}\text{Cs}_{07}$	K_1	$^{131}\text{I}_{86}$	$^{131}\text{I}_{07}$	K_2
		Ки/км ²	Ки/км ²	$\frac{^{137}\text{Cs}_{86}}{^{137}\text{Cs}_{07}}$	Ки/км ²	Ки/км ²	$\frac{^{131}\text{I}_{86}}{^{131}\text{I}_{07}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Туросна (Клинцовский)	10,5	9,0	1,17	75	55	1,36
2	Николаевка (Красногорский)	104,5	60,8	1,72	679	244	2,78
3	Яловка (Красногорский)	62,2	46,3	1,34	350	133	2,63
4	Увелье (Красногорский)	48,3	20,7	2,33	278	116	2,40
5	Верещаки (Новozyбков-й)	25,0	11,8	2,12	220	81	2,72
6	Святск (Новozyбковский)	11,0	23,9	0,46	101	144	0,70
7	С. Вышков (Новozyбковский)	10,5	12,3	0,85	99	151	0,66
8	Ст. Бобовичи (Новozyбковский)	21,4	21,4	1,00	180	193	0,93
9	Новое место – въезд (Новozyбковский)	35,4	34,1	1,04	233	157	1,48
10	Новое место – выезд (Новozyбковский)	44,0	18,8	2,34	325	199	1,63
11	Березовка (Клинцовский)	4,7	2,9	1,62	84	45	1,87
12	Барсуки (Красногорский)	163,0	80	2,04	900	397	2,27
				Сред-е $K_1 \approx 1,5$			Сред-е $K_2 \approx 1,8$

Примечание: данные приведены к 28 апреля 1986 г.

Таблица 2

Результаты оценки интегральных выпадений йода-129 по НП Брянской области с учётом фоновых значений и вертикальной миграции за 21 год после аварии на ЧАЭС

№ п/п	Район	Название НП	¹²⁹ I		№ п/п	Район	Название НП	¹²⁹ I	
			Бк/м ² × 10 ⁻²	Ки/км ² × 10 ⁻⁷				Бк/м ² × 10 ⁻²	Ки/км ² × 10 ⁻⁷
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Брянский	Брянск	3,3	9,0	17	Почепский	Почеп	2,3	6,3
2	Севский	Севск	6,5	18	18	Дятьковский	Болва-Псурь	10	29
3	Локотской	Брасово – Локоть	3,6	9,8	19	Красногорский	Красная Гора	2,8	7,6
4	Навлянский	Навля	2,5	6,7	20	Суражский	Сураж	0,8	2,1
5	Дубровский	Дубровка – Голубея	2,6	7,1	21	Унечский	Унеча	1,4	3,8
6	Рогнеденский	Осовик	3,7	10	22	Мглинский	Мглин	1,6	4,4
7	Стародубский	Стародуб	2,7	7,3	23	Климовский	д. Хоромное	0,9	2,4
8	Клинцовский	д. Туросна	5,9	16	24	Климовский	Климово	2,8	7,7
9	Красногорский	д. Увелье	12	33	25	Новозыбковский	Ст. Бобовичи	20	55
10	Новозыбковский	с. Верещяки	8,7	23	26	Новозыбковский	д. Святск	15	41
11	Новозыбковский	Ст. Вышков	16	44	27	Клинцовский	Ипуть – Ущерпье	5,3	14
12	Новозыбковский	д. Новое Место – въезд	16	45	28	Злынковский	Злынка	5,6	15
13	Новозыбковский	д. Новое Место – въезд	21	57	29	Красногорский	Яловка	14	38
14	Клинцовский	д. Березовка	4,7	13	30	Красногорский	Николаевка	25	70
15	Погарский	Погар	3,7	9,9	31	Красногорский	Заборье	26	71
16	Трубчевский	Трубчевск	4,4	12	32	Красногорский*	Барсуки (0÷5 см)	24	66
					33	Красногорский*	Барсуки (5÷10 см)	18	49
					34	Красногорский*	Барсуки (10÷15 см)		12 33

Примечание: * – пробы в НП Барсуки отобраны в 1997 г.

По результатам определения в 2007 и 2008 гг. значений интегральных выпадений йода-129 проведена оценка интегральных выпадений йода-131 в ареале соответствующих пунктов отбора проб.

По результатам оценки интегральных выпадений йода-131 и цезия-137 определены значения соотношения $^{131}\text{I}_\text{И}/^{137}\text{Cs}_\text{И} = R_\text{И}$ в ареале соответствующих пунктов отбора проб в 2007 и 2008 гг. Полученные значения $R_\text{И}$ использованы для определения закономерности их изменения от интегральных выпадений цезия-137 по исследуемой территории.

На рисунках 3 и 4 представлены зависимости значений отношения $R_\text{И}$ от уровней выпадения цезия-137 по выделенным территориям 1 и 2 Брянской области России.

Данные рисунков 3 и 4 свидетельствуют об относительно небольшом отклонении реконструированных значений отношения $^{131}\text{I}_\text{И}/^{137}\text{Cs}_\text{И}$ от аппроксимирующей кривой даже при малых значениях интегральных выпадений РВ. В основном, это связано с тем, что относительная погрешность определения содержания в счётном образце йода-129 была существенно меньше 40% (скорость счёта от счётного образца превышала фоновую скорость счёта для большинства проб).

В таблице 3 представлены оценочные значения $R_\text{И} = (^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs})_\text{И}$, а также оценённые значения интегральных выпадений йода-131 ($I_{131\text{И}}$) в зависимости от выпадений цезия-137 по южной (1) и северной (2) территориям Брянской области России в диапазоне интегральных выпадений цезия-137 от 0,1 до 120 Ки/км².

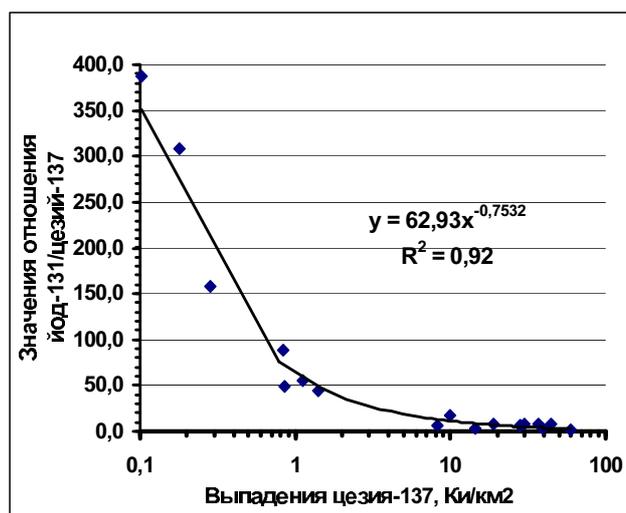


Рис. 3. Зависимость значений $R_\text{И} = ^{131}\text{I}_\text{И}/^{137}\text{Cs}_\text{И}$ от уровней выпадения цезия-137 по южной территории 1 Брянской области

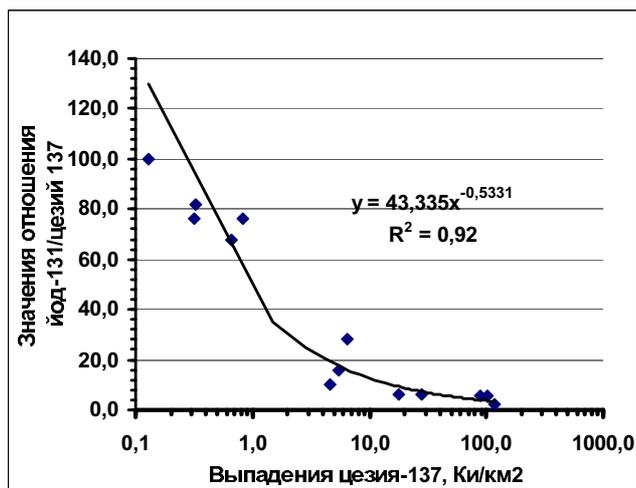


Рис. 4. Зависимость значений $R_{И} = {}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs}_{И}$ от уровней выпадения цезия-137 по северной территории (2) Брянской области

расположенных на территориях, граничащих с территориями Брянской областью России.

Графики, аппроксимирующую зависимость значений отношения ${}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs}_{И}$ от выпадений цезия-137, по совокупности территорий Брянской области и приграничных территорий Белоруссии мало отличаются от графиков, представленных на рисунках 3а и 3б. При этом коэффициент достоверности аппроксимации зависимости значений отношения ${}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs}$ от выпадений цезия-137 снижается незначительно – с 0,92 до 0,87.

Так, например, на юге г. Гомеля, в ареале расположения пункта отбора проб на планшеты, интегральные выпадения цезия -137 составили 0,92 Ки/км² (данные НПО «Тайфун»), а йода-131 – 72 Ки/км² [2]. Следовательно, ${}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs}_{И} = 78$. Данное значение практически точно ложится на кривую (см. рис. 3а), аппроксимирующую зависимость значений отношения ${}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs}_{И}$ от выпадений цезия-137.

Таблица 3

Оценочные значения величин $R_{И} = ({}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs})_{И}$ и $I_{131И}$ в зависимости от выпадений цезия-137 по южной (1) и северной (2) территориям Брянской области России

Интегральные выпадения цезия-137 (Ки/км ²)	0,1	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	32	64	100	120
$R_{И1} = 62,93 \times {}^{137}\text{Cs}_{И}^{-0,735}$	340	105	63	38	23	13,6	8,2	4,9	3,0	2,1	1,9
$R_{И2} = 43,34 \times {}^{137}\text{Cs}_{И}^{-0,533}$	150	63	43	30	21	14,3	9,9	6,8	4,7	3,7	3,4
Интегральные выпадения йода-131 (Ки/км ²)											
$I_{131И1}$	34	53	63	76	92	109	131	157	192	210	228
$I_{131И2}$	15	32	43	60	84	114	158	218	301	370	408

Примечание: – данные приведены к 28 апреля 1986 г.

Оценка значений $I_{131И}$ реализована по соотношению: $I_{131И} = R_{И} \times \text{Cs}_{137И}$ (3)

В результате проведённых исследований восстановлены средние значения интегральных выпадений йода-131 в окрестностях 3182 населённых пунктов Брянской области России.

Средние оценочные значения интегральных выпадений йода-131 по 3182 населённым пунктам Брянской области изменяются в пределах от 11 до 360 Ки/км², а цезия-137 – от -0,048 до 115 Ки/км². Из этого следует, что на данной территории выпадения йода-131 варьируют в 70 раз меньше выпадений цезия-137 (по средним значениям). Вариабельность значений указных величин в отдельных «точках» существенно больше.

Соответствующие оценочные значения отношения ${}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs}_{И}$ при выпадениях цезия-137 от 1,0 Ки/км² и более (данные, использованные в [13]) изменяются в пределах от 1,9 до 63 по южной территории и от 3,4 до 43 по северной территории Брянской области. Это, соответственно, в 22 и 8,4 раза превышает оценённую ранее [13] вариабельность указанных значений, в основном, в пределах от 8 до 12 (на 26.04 1986 г.).

Представленные результаты удовлетворительно согласуются с полученными в 1986 г. значениями отношения ${}^{131}\text{I}/{}^{137}\text{Cs}$ по НП Гомельского, Ветковского и Добрушского районов Гомельской области Республики Беларусь,

Заключение

1. Восстановленные значения интегральных выпадений йода-131 по населённым пунктам Брянской области могут быть использованы для уточнения реконструированных ранее значений дозы внутреннего облучения щитовидной железы, как для жителей наиболее загрязнённых территорий области, так и для оценки значений дозы для населения слабо загрязнённых территорий.

2. Разработанный и реализованный по Брянской области России (и Брестской области Беларуси) подход к ретроспективному восстановлению выпадений йода-131 должен быть применён и к другим территориям России, независимо от результатов определения уровней выпадения цезия-137.

Литература

1. Гаврилин Ю.И., Шинкарёв С.М. Ретроспективное восстановление доз внутреннего облучения щитовидной железы после аварии на Чернобыльской АЭС// Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Труды Международной конференции (Москва, 5–6 декабря 2005 г). Том 3. Секция 3. Дозы облучения населения в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды при ядерных взрывах и авариях [Под ред. Ю.А. Израэля]. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2006. С. 195–201.

2. Махонько К.П., Козлова Е.Г., Волокитин А.А. Динамика накопления радиойода на почве и реконструкция доз от его излучения на территории, загрязнённой после аварии на Чернобыльской АЭС // Бюллетень «Радиация и Риск». Выпуск 7, 1996 г. Москва. Обнинск. С. 140–191.
3. Орлов М.Ю. Радиоактивное загрязнение территорий Белоруссии и России после аварии на Чернобыльской АЭС / Орлов М.Ю. [и др.]. Атомная энергия, Т. 72, вып.4, апрель 1992. С. 371 – 376.
4. Данные по радиоактивному загрязнению населённых пунктов РСФСР цезием-137 и стронцием-90 (на июнь 1989 г.). Москва: Московское отделение Гидрометеоздата, 1989 г. 55 с.
5. Гаврилин Ю.И. Ретроспективное восстановление интегральных выпадений йода-131 по населённым пунктам Брянской области России: Сборник тезисов международной научно-практической конференции (Брянск, 14 апреля 2009 г.). С. 19–22.
6. Способ перевода йода-129 с сорбционного фильтра материала в счётный образец: Патент № 2209766. Рос. Федерация. № 2002106163/12(006608); заявл. 12.03.2002; Регистрация в Гос. реестре изобретений РФ 10.08.2003 г.
7. Устройство для перевода йода с углеродной ткани в счётный образец: Патент № 2209765. Рос. Федерация. № 2002106162/12(006607); заявл. 12.03.2002; Регистрация в Гос. реестре изобретений РФ 10.08.2003 г.
8. Устройство для выделения йода из грунта и его концентрирования в заданном объеме: Патент № 2215685 г. Рос. Федерация. № 2001131584/12(033940); заявл. 12.03.2002; Регистрация в Гос. реестре изобретений РФ 10.08.2003 г.
9. Российско-Германская программа исследований 1991 г: Отчёт «Measuring Hrogramme of The FRG in Regions of Russia Contaminated by the Chernobyl accident – Summary of the Results of the Year 1991».
10. UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Atomic Radiation: Report to the General Assembly. Volume 1: Sources. Annex C. Exposures to the public from man-made sources of radiation. United Nations, New York, 2000.
11. UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Atomic Radiation: Report to the General Assembly. Volume 2: Effects. Annex J. Exposures and effects of the Chernobyl accident. United Nations, New York, 2000.
12. Орлов М.Ю., Сныков, В.П., Хваленский Ю.А., Волокитин А.А. (ИЭМ НПО «Тайфун»). Загрязнение почвы европейской части территории СССР ¹³¹I после аварии на Чернобыльской АЭС. Атомная энергия, Т.80, вып. 6, июнь 1996. С. 466–480.
13. Данные по радиоактивному загрязнению территории Российской Федерации цезием-137, стронцием-90, плутонием-239, 240. Данные реконструкции поверхностного загрязнения изотопом йод-131 территории Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Бюллетень Российского государственного медико-дозиметрического регистра. «Радиация и риск». Выпуск 3, 1993г. Приложение 1. Москва. Обнинск. 157 с.

Проведение исследований финансировалось МЧС России.

В организации и проведении экспедиционных работ большую помощь оказали заведующий лабораторией МРНЦ РАМН В.Ф. Степаненко, ведущий инженер центра П.П. Вайчулис (г. Обнинск), главный врач Брянского клинико-диагностического центра А.В. Силенок и сотрудник центра И.И. Змиев.

Авторы данной статьи выражают глубокую признательность всем коллегам, при участии которых были получены приведенные результаты.

Yu.I. Gavrilin, V.Ya. Volkov, I.I. Makarenkova

Retrospective reconstruction of integral iodine-131 fallout for the settlements of the Bryansk region of Russia on the basis of results of iodine-129 content in the soil determination in 2008

Federal State Institution “Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan” of FMBA of Russia, Moscow

Abstract. The article briefly describes the procedure of reconstruction of integral iodine-131 fallouts using fragmentary data on iodine-131 fallouts in May-June 1986, as well as results of determination (in the late period after the accident) of iodine-129 concentration in the soil and values of integral fallouts of cesium-137 in the settlements of the Bryansk region of Russia. Results of estimation of integral iodine-131 fallouts (in the area of 32 soil sampling points) are presented in the table form. Regularities of ratio (¹³¹I/¹³⁷Cs) change in the integral radionuclide fallouts are being determined and values of integral iodine-131 fallouts are being estimated for the other settlements of the region with the known values of integral cesium-137 fallouts. It is shown that variability of the average for settlements values of integral iodine-131 fallouts is 70 times less then variability of corresponding integral cesium-137 fallouts.

Key words: accident at the Chernobyl NPP, transport pathways, integral fallouts, cesium-137, iodine -129, iodine -131.

Поступила 04.05.2009 г.

Ю.И. Гаврилин
Тел. (8-499) 193-11-11
E-mail: ygavrilin@mail.ru